第2種基礎研究を軸とした
本格研究の展開
［第４集］

冬のつくばセンター

● 持続型産業への重心移動の担い手として
（産総研 TODAY 2007. 2 月号「技術を社会につなぐ架橋」より）
産業技術総合研究所 理事長 吉川 弘之 4

● 持続発展可能な社会実現に向けた本格研究
評価担当理事 小林 直人 6

● 座談会：「本格研究」はどのように社会と信頼関係をつくるか 7

● 本格研究事例（産総研 TODAY 2007. 2 月号より）

■ 高レベル放射性物質の廃棄に関する本格研究
現在火山が無い場所には、将来も火山が無いのか？
深部地質環境研究センター 宮城 磯治 16

■ 地球観測データの利用における本格研究
利用ニーズ・産業化に向けた地球観測衛星データ
グリッド研究センター 土田　聡 18

■ 地質図作成における本格研究
島弧の地質解明と地質図情報の整備・発信
地質情報研究部門 脇田 浩二 20

■ 物性データベース構築の本格研究
熱物性データの生産から供給へのハブの構築
計測標準研究部門 馬場 哲也 22

技術を社会につなぐ架橋

産総研とベンチャー

持続型産業への重心移動の担い手として

産業技術総合研究所 理事長　吉川 弘之
（ベンチャー開発戦略研究センター長）

世界の状況は決して安泰ではない。多くの地域で貧困は解消されず、その貧困が困難な国際政治的緊張を作り出している。それらの地域では、経済的貧困だけでなく、地震、津波、暴風、疫病などへの抵抗力が低く、人々に二重の苦しみをもたらしている。一方経済的成長を達成した国々では、地球環境変動の原因となる物質やエネルギーの使用に関する厳しい制限が必要であることが明らかとなり、その中で解決しなければならない多くの問題を抱えながら、激しい国際競争に負けることが許されない。これらの問題を解決して実現すべき社会が持続性社会であるが、その解決には多様な努力が必要である。

おそらくこのような地球規模での問題に直面するのは、人類にとって初めてのことであり、しかもその問題の性質が過去のものと質的に異なることが次第に明らかになりつつある。人類は、この困難な状況に対応するために、今持っている知識を充分に使うことが勿論必要であるが、それだけでは十分でなく新しい知恵が必要である。この必要な新しい知恵を生み出す可能性が高いものとして、科学技術が期待され、各国で科学技術研究は最重要課題であると考えられるようになった。

このような状況では、科学技術研究の振興と平行して、その研究成果の社会的使用を加速することが不可欠である。しかしこの科学技術の振興と使用とは、その内容が互いに異なるだけでなく、社会的手続きも、担い手も、そして歴史も異なっている。このことが、振興と使用とをひとまとめにして科学技術によるイノベーション政策を立てようとするとき、その政策は複雑で見通しの悪いものになりがちで、各国とも悩みの種という状況である。例えば振興と使用とが、それぞれ基礎研究と応用研究という立場で対立したり、研究の自治の侵害問題にまで発展して論じられたりするのは、本来両者が矛盾したものであるはずもなく、しかも現代の問題を解決するためには対立どころか深い協力が必要なことは誰の眼にも明らかなのに、困った状況である。

この対立を、情緒的とかイデオロギー的、あるいは研究費の取り合いから来る世俗的対立などと批判する向きもあるが、それは誤りである。振興と使用とは、本来目的が同じで協調すべきものなのだが、上述したように社会的に、そして歴史的に異なっていて、その協調は自然に進むものではない。

歴史的に容認されてきた単純な定義は、研究の振興は公的セクターで、使用は私的セクターで、というものである。これは研究成果の使用が、現代の市場経済のもとでは利益を生むと考えられるからである。利益を生まない研究の振興は公的セクターが担うしかなく、利益を生む使用は、私的セクターが受け持つ。この分類は単純明快であるが、単純すぎて現実的でないだけでなく、弊害がある。

私たち産総研では、この弊害を取り除くべく、新しい研究モデルを立てて研究を行ってきた。人類の長い歴史を見れば明らかなことであるが、科学的知識が人類を豊かにし、また安全を向上してきたのである。そして最初に述べたように、それはまだ途上であり、特に現在において固有の努力が求められているが、その歴史において正しいのは、科学的知識が作り出され、そして使われたということであり、この振興と使用のいずれを欠いても恩恵はなかったということである。このことに基づいて、産総研では振興と使用とに等しい価値を置く研究のモデルを立てたのである。もともと人類にとっての知識とは、作り出して使うものだった。その過程は一貫していた。現代の知識における大きな問題は、その一貫性を失ったことにある。従ってその一貫性を回復することが急務であり、その過程の要素をそれぞれ誰が分担するかはその後で考える。恐らくその分担は、知識の種類により、使用の目的により、

社会の状況により、経済の状況により、国の制度により、また科学の進展の速さにより変わる。それを「振興は公的セクター」、「使用は私的セクター」と単純化すれば、過程の最適分担を達成することはできず、大きな社会的損失をもたらす。

産総研では、わが国の産業の発展を目的として、科学技術研究が実施され産業がそれを有効に利用するときまでの最適な過程を実証的に求めることを試みているのである。どこまでを公的セクターが受け持ち、どこから私的セクターになるのがよいか。この分類は荒すぎるのであって、分担者として、国立大学、私立大学、そのなかの学部や専門分野、そして独立行政法人研究所、民間研究所があり、それに続いて公的な性格の強いものから私的なものまで多様な形態の企業がある。私的と言っても企業は公的性格を帯びているのであって、その内容は複雑である。これらの、とても一次元の尺度上には並べられない多様な担い手が、基礎的な研究から製品化までの過程を分担するのである。

産総研の立てたモデル、それは本格研究である。それは大学や企業と連携して社会的なものとなるが、産業に対しては、科学的知識の創出に始まり、それを産業が使用することができる形態をもつ知識へと構成する研究までを、一貫して行うものである。そして本格研究の成果を、さらに社会へと導入するための仕組みとして、さまざまな方策を試みている。「産業変革イニシアティブ」「ハイテクものづくり」「知的財産インテグレーション」「企業との課題別連携と包括連携」などである。そして「産総研発のベンチャー」が、その中で最も重要なものである。

本格研究とそれに続くベンチャー開発戦略研究センターにおけるベンチャーの創出努力を通じて、私たちは多くを学んだ。科学知識から製品価値までの知識変化過程は単純なものではない。そこには、中心となる学問領域のほかに、多くの領域の関与がある。そして勿論、社会的要因が重要な因子である。それは、法律や制度などの公的なもの、関係のある既存産業の経営方針、出資者の思想など。それらは取り組んだ課題によって大幅に変わる。その状況によって、どの時点で公的空間を離れて企業として成立するかが変わってくる。

産総研の共通の目的は、産業全体が持続型産業へと重心移動を起こすことに役立つ科学技術知識を生み出すことである。したがって産総研が創ろうとしているベンチャーは、重心移動の担い手である。しかもそれが、先端的な科学技術知識に基づいたベンチャーでなければならない。既存の基礎知識の応用でなく、持続型産業を実現するための従来にはなかった先端的な科学技術知識を、第1種基礎研究によって生み出した上で、その使用によって創出されるのが産総研ベンチャーである。そこには、知識生産から使用までの一貫した過程がある。センターではこの過程を多く経験することによって、どの時点で公的空間を離れるかを決める条件についての知見が得られつつある。少なくともそこには、研究振興は公的セクターで、使用は私的空間でという単純さはない。

持続発展可能な社会実現に向けた本格研究

20世紀においては、学術的には量子力学、相対性理論、分子生物学などの新概念・新領域の登場と発展、技術的にはマイクロエレクトロニクス、情報通信ネットワーク、バイオテクノロジーなどの出現とその進歩により、社会と産業に大きな影響がありました。20世紀中に、実に世界経済の年間生産高は約15倍に増大し、世界の人口は約3.5倍に増加しました。このように人類史上極めて異例の経済成長・人口増加をした20世紀でしたが、それは制約条件が無限大の中で、いわば奔放に技術開発を行って来た結果とも言えましょう。

今世紀は、我々人類が活動を行うに際して地球環境・エネルギー・資源などの極めて大きな制約がある点が20世紀と大きく違います。我々は、これらの制約条件の中で地球環境やエネルギーのみならず、経済力、安全・安心な社会、人間と生物、情報と文化など多様な面で持続性を発揮して行かなければなりません。そのため産業のあり方そのものにも大きな変革が迫られています。

このような産業変革には、新たなコンセプトとそれを実現するシナリオが必要でしょう。すでに我が国のGDPの70%以上を占めるサービス産業と我が国が従来から得意な「ものづくり」を、持続性の面からどのように融合発展させ、世界経済の中で有効な展開を図って行くべきかを考えるシナリオなどはその一例と言えます。

産総研では、発足当初より本格研究という考え方で研究を進めて来ました。特にその中心となる第2種基礎研究においては、このシナリオが非常に重要です。なぜなら第2種基礎研究では異分野のものも含めて複数の概念・要素技術などを構成的に統合して新たな価値を創造することが必要ですが、その構成方法にはあるシナリオを前提とした取捨選択のプロセスが必然的に含まれているからです。独自のシナリオが必要な「持続的発展可能な社会に向けた産業変革」のためには、大きなシナリオから小さなシナリオまで、複数のシナリオの連鎖を実践する本格研究が不可欠だと言えます。

すでに産総研ではさまざまな分野で本格研究が推進されていますが、実際にどのような方法論で実践されて来たのかを、本報告では座談会での研究者の議論を通じて明らかにして来ました。そこでは多くの研究分野にわたる多様性がある一方で、共通した方法論があることも分かって来ました。今後はその内容をより明確な形で表現していく努力が必要だと思います。そのためには、上記のシナリオの創出とその意義、独創的な構成的方法論などを含んだ本格研究の手法と成果を、読者に十分に伝えていく報文誌の創設などの新たな試みも望まれるところです。

評価担当理事
小林 直人

座談会：

「本格研究」は どのように社会と信頼関係を作るか

吉川 弘之　理事長

脇田 浩二　地質情報研究部門
宮城 磯治　深部地質環境研究センター
土田　聡　グリッド研究センター
馬場 哲也　計測標準研究部門

小野　晃　広報担当理事（司会）
内藤　耕　イノベーション推進室

明確な研究成果の受け手

小野　本格研究をどのように展開していくのかを主題にして、理事長と研究者に語っていただく座談会ですが、今回で第4回となりました。今日お集まりいただいた方々は、社会の安全あるいは産業での活用といった研究成果の受け手を明確な形で持っておられます。

廃棄物の地層処分と信頼感を得るための情報公開

小野　宮城さんは、核燃料廃棄物を地層処分するときに、どこの土地を選べばよいかということを火山の生成という方向から研究されていますね。

宮城　はい。使用済み核燃料を再処理した高レベル放射性廃棄物は非常に毒性が強いので、地下深くに埋設して長期間隔離することが考えられています。地球という天然のバリアを上手に利用して、そこに人工のバリアをつくって保管しようというわけです。しかし、何万年という長期間の耐久性を保証できるのかどうか、問題が残っています。

当然、大事なのは場所選びです。日本は火山国・地震国なので、たとえば現在火山がない場所であっても、そこに将来も火山が生じないのかどうか、きちんと評価しなければなりません。それが私の研究テーマです。山形県の肘折（ひじおり）火山というのは、火山のなかった場所に新しく火山ができた例です。そこで私は、ここを研究して、地下でマグマがどのように蓄積して噴火に至ったのか、その解明をめざしています。このような研究を進めれば、少なくとも「どういう場所を避けるべきか」が言えるようになると考えています。

火山やマグマ活動のほかにも、地震活動、熱水活動、地殻変動、浸食と堆積など、さまざまな地質学的な出来事が地層に影響します。直接的な影響だけでなく、火山による熱水が循環して、間接的にダメージを与えることもあります。そのため、世界各国共同で研究が進められています。要するに、地球そのものに手を加えることはできませんが、その「取扱説明書」はつくれるのではないかと思うわけです。

理事長　最終的に「火山がなくて火山にならないところを選びたい」。そこで「火山になるところを調べていけば、火山にならないところが見つかる」という理屈ですか？

宮城　はい、そうです。それを言うために、日本の下でどういうメカニズムでマグマができて、どういうふうに出てくるのかを理解する必要があります。

現実として、今まで火山がなかったところにできた火山があるわけです。それを研究することで、そこで何が起きたのかがわかります。そこからモデルを作ります。地下の様子は目に見えませんが、地震波探査によって3次元的な地下の様子を知ることができます。マグマのモデルによって地下データを解釈していけるようにしたいのです。

理事長　マグマがそこにあるとかないとか、そういう話ではないのですか？

宮城　そこにあるマグマの状態が重要だと考えています。深さ、温度、圧力など。たとえば、深さに関しては、噴出物からそのマグマが生まれた深さを知るために、メルト包有物の飽和含水量を調べるという方法を用います。温度に関しても、鉱物の熱力学的な温度計というものが利用できます。

マグマだまりの大きさや形などは知ることが非常に困難ですが、手に入れられるさまざまなデータから、実像になるべく迫るような形でモデルをつくっておくことが、地震波のデータを解釈していくときに非常に重要になるのです。

理事長　本格研究という意味では、最終的には、「ここがいいですよ」と受け手に渡せるところまで行くわけですか。

宮城　我々の研究は、「いいですよ」とまでは言いません。取扱説明書にあたるものを作るところまでです。それをどう使うかは、原子力安全・保安院の仕事になるわけです。意思決定には関わっていません。

理事長　科学者としては、そこまでしかできないのでよいと思いますが、マグマがそこに来るか来ないかという、確率を持った現象について、リスクをどう科学的に評価していくかがないと、保安院も困るのではないですか。

宮城　そうですね。地球はモノとしては完成品ですが、取扱説明書は未完成なわけです。時間をかければかけるほど解ってくるものでしょう。ニーズも位置付けもきちんとしているのですが、未知の部分が多いがために、時間とともに変わっていく部分がある研究課題だと思います。

理事長　地球がどうなっているかを知るのが基礎研究で、宮城さんの場合はマグマの解明を進めていますが、それが最終的に社会に対する助言、あるいは製品になるまでに何が必要なのか、というところですね。それがまさに第2種基礎研究になると思いますが、そのあたりについて何か書いたことはありますか。

宮城　それはまだです。

理事長　基礎研究の成果は、専門の学会誌などに出せるわけですが、それらを総合して、「これが取扱説明書です」とユーザーに渡すところまでの間には、いろいろな社会的要因が入ってくるでしょう。ひとつの論文なのか総合的な助言なのかは別にして、ともかく社会が基礎研究の成果を利用することになる。その時に研究者が何をすれば、社会に使ってもらえる形になるのか。今回お集まりの他の方の話とも構造的によく似ているところですね。対象やデータは違っても、共通する点がある。それが何なのかを明らかにしたい。

社会と密接に関わるサイエンスだからこそ、情報公開がすごく大事になる。情報は、できるかぎりオープンにしていく。

宮城 磯治

宮城　他の3人の方と比べると、私のテーマは一般の方々への公開というところで弱いかもしれません。もちろんそれは意識はしていますからウェブでデータをたくさん出すよう心掛けています。ヒット数もかなりあります。

理事長　機密ではないのですか。

宮城　実はそれが一番大事なことなのです。地層処分の研究が一番進んでいるフィンランドでの見学からも学びましたが、情報公開がすごく大事なのです。社会と密接に関わるサイエンスですから、少しでも嘘をついたりするとまずいのです。情報はできるだけオープンにしています。面倒くさいから出さないというのもいけないですね。

理事長　普通の製造業でも、モノを売る時には信頼が大前提ですからね。ここにはさらに非常に難しい問題を抱えている。安全の問題に関わることですからね。

宮城　フィンランドの原子力関係者は「もんじゅ」の問題をすごく心配していました。「ああいうことがあると、こちらにまで影響がある」と言うのです。そのくらい情報公開が大事なのです。

理事長　なるほど。情報公開も含めて、社会と研究者の信頼関係が重要になるわけですね。

使いやすく精度の高い結果を得る統合データベース

小野　土田さんは、衛星画像などいろいろな地球の情報を扱いやすくするためのツールとして「GEO Grid」の研究をしているわけですね。

土田　「GEO Grid」とはGlobal Earth Observation Gridの略で、地球観測を対象に、グリッド技術を用い、さまざまなデータ・計算資源・アプリケーションといったリソースを統合処理解析するものです。環境や災害や資源などの個別問題に貢献するのはもちろん、これをもとに空間情報の社会基盤となるインフラを整備し、新しい産業をつくりたいと思っています。現在のところは経済産業省主導で開発された衛星データを主に扱っていますが、今後、他の地球観測データも取り込みます。

地球観測データの場合、データの管理組織もその取扱い方法もさまざまですから、それらの間には多くの「壁」があります。グリッド技術をつかって、

そうした多くの「壁」を乗り越えたデータ統合・情報処理を目指しています。地理的な壁、所有者の壁、多様なアクセス方式の壁が存在しますが、そうした「壁」をユーザーが感じることなく、データを使えるようになるというイメージです。データを管理する側も、壁を越えてのデータ共有を認識する必要があります。必然的に、その標準化も進めていかなければなりません。

理事長　GEO Gridは最近、急展開を見せていますね。こういう統合的なデータというのは、昔からあるのですか。誰が使うかによるわけですが、たとえば二酸化炭素の例では社会経済や生態系の話も入ってきます。社会経済なら各国の経済政策などにも影響を与えますが、生態系モデルもそうですか。

土田　生態系モデルで二酸化炭素のおもに吸収量を、社会経済モデルで排出量を出し、この両者から二酸化炭素収支を解析すれば、経済政策に役立ちます。

理事長　ユーザーはどういうところですか。

土田　二酸化炭素の収支に関しては、おもに国レベルの政策決定者になります。日本で言えば環境省と一緒に研究していかなければいけない話です。実際、我々も環境省とのプロジェクトも進めています。二酸化炭素収支を求めるには、さまざまな観測データを利用しますが、その管理機関自体もさまざまです。

こういうところに壁があってなかなか難しい。ただ、やっていかなければいけないという認識があり、少しずつ壁を越えていくための技術開発を進めていくという感じです。

理事長　1972年に人間と環境のストックホルム会議というのがありました。そこでの話を見ると、産業も環境問題に入ってくるので、将来の企業の計画にもそうしたデータが必要になる、とすでに言っています。政策決定者のほかに、企業がデータを欲しがることはないのですか。

土田　京都議定書との関係で、排出権取引等の話では出てきます。基本的にはここでの処理技術は役立ちます。実際、二酸化炭素収支の研究においても、企業の人は参加しています。

理事長　そうすると、これはひとつのシミュレーターのようなものでしょうか。センサーから入った膨大なデータを使って、ある種のモデルを通じて二酸化炭素の量がわかるということ。このモデルは、企業の人たちが使えるようなものではないのですか。たとえば自動車企業が、「将来の排出ガスはこういうふうになるから、自動車は将来こういうふうになる」といったことを知りたいと思ったとき、このモデルは使えますか。

今まで使いにくかった
地球観測衛星データを
もっと使いやすくすることで
考えもしなかったような
使い方が出てくればいい。

土田　聡

土田　ここでのモデルはおもに政策決定者用のものなので、そのまますぐに企業が欲しがるかどうかわかりませんが、京都議定書の排出権の問題等を入れ込めば、使えるようになると思います。

理事長　結局このインプットはデータ、主として衛星データということですね。それが排出権問題に使えるような二酸化炭素の収支のデータになっていく。モデルの中味ですが、たとえば違うデータを入れれば別のものが見えるという一般性を持っているのですか。それとも、炭酸ガスの性質などをこの中にいっぱい入れてしまうと、他のものには使えないわけですか。たとえば、フロンを入れたらオゾンホールがわかるとか、そういう話になるのかどうか。そういうシミュレーターというのは、今はどういう状況にありますか。

土田　これは、かなり二酸化炭素に特化したものです。しかも、特に衛星データを中心にしたものを今は考えていますが、何にでも使えるものというのは、逆に精度が上がらないという面があります。

理事長　全体が重くなり過ぎてコストがかかってしまうとかですね。なぜそういうことが気になるかというと、シミュレーターというのはどちらかというと第2種基礎研究そのものになってしまうからです。一方、基礎データというのは第1種基礎研究。それが実際に行動とか助言になったり、企業が設計に使えるパラメータになると、役に立つシミュレーションになる。

さてそこで、一般性というのはどうなるのか。もし何かの目的があるたびに新しいシミュレーターを作らなければならないとすると、そういうことを人類はこれからずっとやっていくことになる。それは第2種基礎研究と同じ

ことでしょう。たとえば自動車を造るときに非常に苦労して、最後には自動車が完成していく。工作機械を造るときには、また別の苦労をして完成させていく。でも我々が言っているのは、両方とも似ているのではないかということ。たとえば冷蔵庫1台と自動車1台を造るとき、似ていることがあるのではないか。そう考えると、シミュレーターからも共通性のようなものが将来は出てくるのではありませんか。

土田　GEO Gridで主要に考えているのは、シミュレーターより、地球観測データの取り入れ部分です。シミュレートするにしても、やはり地上のデータをきちんと入れなければいけないし、衛星のデータも精度を上げないといけない。そうしないと観測データは単なる誤差の積み重ねになってしまう場合もある、という発想です。

逆に言うと、シミュレーターの部分は、標準化されたデータを入れてあげるところが重要と思っています。

理事長　それが今のテーマですね。でも、データはそうだけれど、統合ということが大事なのではないですか。壁を越えたデータの統合情報処理。

アプリケーションは別にあるにしても、そのデータが違う目的によってそれぞれ使えるような統合データベースのようなものです。

土田　今お話ししたのは二酸化炭素収支が目的になっていますが、災害用であれば災害の情報を入れる必要があります。同じ衛星データも使えますが、異なる衛星データが必要な場合も多く、地形データだとか、それぞれの目的にあった違う種類のデータが必要になることもあります。地形データにしてもさまざまですから、その目的に最も適したデータを利用することが重要です。また、いつの時期のデータが必要かという時間軸の問題もあります。ひとくちに統合と言っても、一箇所に集中して管理することになるとなかなか難しいので、それぞれの管理の中でうまく使えるような仕組みにしていきます。

理事長　それが「壁を越える」ということですね。

日本が潜在的優位性を持つ地質分野

小野　脇田さんは「地質図」をはじめとした地質情報を研究しています。

脇田　私はずっと地質図を作成してきました。主な担当地域は岐阜県中央部です。地質調査を実施し、地質図を作成しながら、ここでの地層がどのような形で遷移してきたのか、研究を進めてきました。

地質構造や年代を詳しく調べると、海洋底の上に堆積した地層を中心に、そこに陸側から供給された堆積物が混ざり合って、複雑な地層が形成されたことがわかりました。また、同じ手法でインドネシア地域を調べたところ、これ以外に、微小大陸が集合していくプロセスも明らかになりました。これらの研究は世界的にも注目され、現在、世界各地で造山帯の見直しが進められています。私が研究したのは岐阜県の一地域ですが、その遷移の解明をしながら地質図を作成することによって、地球の40億年以上続いているプロセスそのものを理解することができたと考えています。

このような基礎研究に基づいた地質図を作成しながら、地質図そのものを知的基盤として出版し、公表してきました。ここ5年くらい、私や仲間たちが作成した地質図を元にして、さらなる情報化を進めてきました。地質図は基礎研究の進展とともに次第に精度が上がっていくという過程を踏んでいくので、一般に、区画ごとに作成された従来の地質図は、その思想や精度の違いが生じ、ユーザーには使いにくい部分がありました。これを最新技術で標準化し、連続させた「シームレス地質図」の全国版を、2005年に完成させました。この成果を踏まえて、現在、アジア各地と共同してアジア全体の地質図を、イランまで含めた広大な地域について編集しつつあります。つまり、アジア地域の地質基本図、自然災害図を作成するために、国際的なイニシアティブを取っています。

理事長　脇田さんの研究もおもしろいですね。脇田さんのフィールドである岐阜県というのは、独特な地質だったのですね。これがわかることによって、地球の一般的な造山活動がわかったということですか。

脇田　特殊だと思っていたことが、実は一般的だったとも言えるでしょう。従来は、「お盆の中に平らに堆積した

知識を統合していく過程で
多角的な見方が
重要になる。
視点の数が多いほうが、
より精度は上がっていく。

内藤　耕

ような地層」というのが地質学の基本だったのですが、実はそれが壊れていく過程でできるもの、それ自体が大陸成長の基礎メカニズムになっていた、ということです。

私が調べたのは1億年前の出来事ですが、現在でも同じことが起こっていますし、40億年前にも同じことが起こっていたことが最近わかってきたのです。時間・空間を超えて同じことが起こっていたということです。それは地質調査の結果わかったことです。

日本列島を断面で見ると、海側から海洋プレートが動いてきて、海溝で沈み込みます。その際に海側に溜まった地層と陸側で川を流れ下った地層が「海溝で混じり合って、そこで次第に変形しながら蓄積していく」という過程が起こります。

これは数千万年かかって起こったことですが、現在といういわば“一瞬”の出来事とも関係しています。たとえば巨大海溝型地震というのは、このようなプロセスの課程で瞬間的に生じている、とも言えるわけですね。つまり、時間的に見ても、40億年間の出来事でもあり、一瞬の出来事でもある、と考えることができます。

理事長　脇田さんの場合には、それを地質図として出していますが、社会的にそれを必要としている人がいるわけですね。こういう地質図のモデルが必要になるユーザーというのはどういう方ですか。

脇田　従来の考え方で言えば、地層というのはずっと続くはずですから、たとえば鉱床がひとつあればずっと続くし、セメント用の石灰石を掘る時にもずっと続くと考えて採掘します。ところが、こういう過程を経ることがわかると、実際の鉱床はある大きさで分断されていることになります。しかも、そうした分断された地層が、どんな形、どんな大きさで分布するかについて、より正確に把握できるようになるのです。

特殊だと思っていたことが、
実は一般的なことだった。
我々は、指導するのではなく
自らに残された問題を
見せていく。

脇田 浩二

理事長　自然探査においても、こういう概念が入っているほうが正確であるということですね。

脇田　はい。そのほか、たとえば硬い岩盤があって、それがどのくらい延長するかも違ってきます。たとえばダムサイトを決める場合に、こっちに硬い岩盤があれば、従来なら「当然こっちにもあるだろう」と想定したわけですが、この研究によって「ここまではあるけれどその先にはない可能性がある」ということがわかる。こうして、ダムサイトの立地の調査などにも役立ちます。

理事長　従来は気がつかなかったような要因を提供しているわけですね。

脇田　実際にはより詳細な調査が必要なわけですが、その基礎としての調査に対して、より的確な情報を提供することができます。

理事長　私には驚くべきことだけれど、世の中でこういう知識を使っている人は、「もっとこういうところを研究してほしい」といった要望はあまり出さない、比較的受け身の人たちなのですね。

「あなたの地質図を使ったらこんなことになった。どこか間違っているのではないか」などと言われたことはないですか。

脇田　ありませんね。「どうしてつながらないのか」と聞いてこられるくらいです。ユーザーの多くは地質に未熟といえるでしょう。でも、我々はむやみに指導的な立場はとりません。

理事長　むしろ「こういう問題がある」ということを見せるわけですね。

脇田　はい。だからそういう意味で、企業との連携も進めている段階です。

理事長　こういう分野もあるんですね。気分がいいですね。それにしても、責任は重大ですね。ユーザーの要望を聞くのではなく、こちらから自らの責任において情報を提供しているわけですから、とても厳しいと言える。

脇田　そうですね、トンネルを掘れば結果はわかってしまうわけですから。

理事長　トンネルなどは、こうした研究を必要としている典型的な領域ですね。それは世界的にそうなのですか。たとえばヨーロッパでトンネルを掘るとか。

脇田　ええ、日本のトンネル技術は欧米にも輸出されていますから。宮城さんの場合も同じですが、難しいところでやっている技術は、簡単なところにも応

用できます。日本という難しいところを扱っていることから、日本が世界をリードできる分野にもなってきました。

理事長　なるほど、地質分野は潜在的に優位性があるわけですね。地質分野というのは、第2種基礎研究などとか言われる前から、そういうことがもともとあるわけですね。それをぜひ記述してもらって、他の人に見えるような形にしてもらうことが非常に大切ですね。

「物」から「情報」へ 標準メディアの移行

小野　馬場さんの研究は計測標準の分野で、あらゆる産業分野の基礎資料とも言うべき「熱物性のデータベース」の構築です。インフラの提供という意味では前の3人の方と大きく言えば同じ目的ですね。

馬場　熱物性データには、熱伝導率、比熱容量、熱膨張率などたくさんあります。たとえば伝熱特性を評価する場合、熱拡散率を決める「レーザーフラッシュ法」という測定法が普及していますが、我々はまずこの方法を高精度化して、それをもとにして熱拡散率の国家標準を整備し、それから標準物質を供給しています。そして、メートル条約を司る国際度量衡委員会の中に熱物性の部会をつくり、そちらで熱物性の標準を国際的に確立していくことに現在取り組んでいます。

工業標準についても、熱物性の測定法のJIS規格を2件、ISO規格を1件つくりました。また、エレクトロニクス分野で注目されている「薄膜の熱物性を測る技術」を世界で初めて開発し、その実用化も進めています。

精密計測技術と標準を開発して、さらにその標準を使って切れ目なく実用計測器まで信頼性をつなげていくこと、いわゆるトレーサビリティもできました。「国家標準にトレーサブル」とか「国際単位系にトレーサブル」とか言うのですが、そのような信頼性の高い熱物性データが、効率的・継続的に世の中に出てくるようになりました。

このようなデータはそれぞれの目的でまず活用されますが、さらに、データを集積していって多くの方に使っていただくと、より有用であろうということで、それがデータベース開発の動機になりました。現在の製造業では、コンピュータでシミュレーションして設計するのが、ほとんど当たり前のようになっています。そこで、熱に関わるいろいろなデバイスや機器の設計をする時には、伝熱シミュレーションをする必要があり、そのような場合、信頼できる熱物性データが不可欠なのです。そのように物質材料別に集まってきたデータを、データベースを介して多様な利用分野に提供できるような形にすること、つまり物質材料情報のハブ的な役割こそが、私ども産総研が担うべきものと考えています。それから、私どもはトレーサビリティをとったデータということを考えているので、データ自身の不確かさが表示できることにも留意しています。

私たちは、多くの人々が効率的に利用できるような「分散型の熱物性データベース」を開発しています。3年前からインターネットで公開しています。約1万件のデータが入っていますが、大学、エレクトロニクスメーカー、素材メーカーなどを中心に、毎月平均1万件のアクセスがあります。

国内外の機関とデータフォーマットを共通にすれば、異なるデータベース間、あるいはシミュレーションソフト間でデータがやりとりできるので、東洋大学や物質・材料研究機構、東京大学などと連携して、そのためのプロジェクトを最近立ち上げました。

理事長　材料研究なども、最後は社会が使うわけですね。馬場さんの場合は熱物性ということで、この背景を知りたいのですが、物性データというのは産総研ではいくつくらいあるのですか。

馬場　私たちの場合は、熱伝導率・熱拡散率・熱容量・熱膨張率・放射率あたりが主要なものです。熱関係以外で音速、弾性率など、いろいろな材料の特性データがあります。あと、私たちのところでは標準整備計画というものがありますが、そこに挙がっているものが10から20くらいあると思います。

理事長　物性データの標準ということですね。これは何と呼ばれるのですか？

馬場　「物性計測のための標準物質」、またそれを元にして取得された「標準データ」があります。

「標準データ」というのは、たとえば、水の密度や粘度というのは、水なら純度とか同位体構成比などが決まれば普遍的に決まるので、そういうものに対して、たとえば密度がいくら、粘度がいくらという形で、情報として標準を

解ったことだけいっていては
研究は社会に受け入れられない。
難しいことだが、
「不確かさ」を評価して
公表していくことが求められる。

小野　晃

与えてやる方法です。それが世界的にも一次標準になっていて、それを元に他のいろいろな標準ができてくる。これが一番元の標準になっています。

理事長　機械工学ではエントロピーの標準というのを使いますが、そういうものですね。だけど、今の話で水が標準物質になると言うけれど、その水が標準物質であるというのは、どうすればわかりますか。

馬場　それを純度とか、同位体の組成がどうなっているかということで規定します。そうすれば密度なども精度よく決まります。たとえば今は、温度標準は水の三重点の温度で決めていますが、温度値は水素と酸素の同位体組成に依存しますので、そこを厳密に規定していこうという流れになっています。地球上のどこで採った水かによって、同位体組成はかなり違いますね。赤道付近で採った水と、極付近で採った水では相当に違う。大気中を拡散する速度が違いますから、軽いものほど極の方に行きます。

同位体組成が同定された「標準大洋水」を基準にすることが国際的な取り決めなので、自分の測定した水の同位体組成がそこからずれていれば、しかるべき補正をすることで標準大洋水に対する正しい値が得られます。それが標準データです。標準物質というのは、物に情報を乗せてデータを伝えるのですが、標準データというのは、物をきちんとキャラクタリゼーションすることによって、情報の形だけで伝えることができる、という違いがあります。

ですから、トレーサビリティを何で取るかという話になって、物で取るのが「標準物質」で、情報で取るのが「標準データ」です。物から情報に向かって進化していきたいと思っています。

理事長　なるほど。情報になったほうが使いやすいですね。

トレーサビリティを何で取るか?
「標準物質」から
「標準データ」へ。
物から情報に向かって
進化していきたい。

馬場 哲也

馬場　世界中のどこでもつくれることになりますから。物に依存すると、特定の機関でしか供給できないですから。

内藤　物からデータへという流れは理解できますが、それにはやはり物がないとダメなのではありませんか。

馬場　はい流体が組成比のみによって規定されるのに対して、特に固体は厳密には試料毎に違う「物」なので、現状ではトレーサビリティを標準物質でとることが主流になっています。固体の物性値は組成のみならず微構造に依存して変化するので、それに対してデータをどう整理するかが、ポイントになってきます。高水準データセットと呼んでいるのですが、そういう特性の関数として物性値を体系的に記述して、データベースに収録していくことを目指しています。物に依存しない分だけ技術的には高度で、物をあらかじめより詳細に調べなくてはならないということになります。

理事長　これは科学の根幹ですね。我々が科学と言っていられるのは、こういう仕組みに支えられているわけでしょう。なのに、その重要性はあまり知られていないですね。初等教育などに、こういうものがもう少し入ってくる可能性はないのでしょうか。

馬場　教育に使えたらいいなと思います。学校で、ある物質の熱容量はこうであるとか学びますが、そんなとき、たとえば「データベースで見ると本当にそうなっている」のがすぐわかるような。

理事長　それは大学レベルの話で、それはそれで大事だけれど、最近問題になった事件などは、データのトレーサビリティがないということですよね。トレーサビリティというのは科学技術の倫理でもあって、科学コミュニティの中で絶対に守らなければいけないことなのですね。そうしたことも考え合わせると、非常に普遍性のあることをやっておられると思います。

一方で、トレーサビリティのようなものに一般の人が気づくのは、スーパーの肉などに表示されているラベルです。こういうことが社会的に広がっていくのは、安心・安全につながるからでしょう。だから、もう少し別のアプローチで、トレーサビリティがリアルに見えるような仕組みがあると、科学の確かさや信頼性が世の中に広がっていくのではありませんか。

小野　そうですね。牛肉のトレーサビリティと科学データのトレーサビリティに共通するのは、信頼性の根拠だと思います。それを逆の方から見ると、不確かさの表明でもあるのですね。もちろん信頼性のトレーサビリティは重要で、だから普及しつつあるのですが、そのよい点は、自分の測定した結果の不確かさが、社会のいろいろなレベルで言えるようになってきたところなのです。

今までは、測定をする人にとって自分の測定に誤差がどのくらいあるか、確かめようがなかった。それが、どのレベルの人が測定しても、自分の誤差が自分で分かるようになる。そういうふうになりつつあります。

理事長　考えてみると、それは世の中そのものですね。

不確かさを共有するために研究者がなすべきこと

小野　脇田さんの研究は非常に完成度が高く、第1種基礎研究については地質学会で成果を発表されていると思います。一方、地質図を作る際にも多くの知識やノウハウが発揮されていると思うのですが、それを発表する機会は十分にありますか？

脇田　形成プロセスの基礎研究については、学会誌、国際誌に出せます。一方、地質図自体は、それ自体には報告書を付けて記載しています。しかし、負の遺産というか、不確かさ、たとえば断層線を引いた時の精度とか不確かさといった点については、内部では意識として持っていますが、公表する場所はないですね。

シームレス化した地質図の場合もそうですが、社会に公表する時に、我々の責任として、どのくらいの確かさを持っているかを何らかの形で記述し、報告する必要はあるかと思います。

小野　前回の座談会に参加された化学物質リスク管理研究センターの岸本さんが、いろいろな化学物質についてのリスクを評価する中で、実はリスクの評価には「不確か」な部分がいろいろあると発言されていました。そしてリスク評価者として、「不確かさがある」ということを積極的に利用者に伝えているとのことです。馬場さんの研究でも、標準値と言っても±を付けて発表するとか、自分の仕事を自己評価しながら発表していく、それも科学的な姿勢かと思いますが。

脇田　科学者の社会的責任として、それは必要だと思います。

小野　宮城さんの研究では、そこが生命線のような気がしました。

宮城　それを言うためにも、モデルがないとどうしようもないのです。

小野　そして、そのモデルの不確かさも、また評価しなければいけないということですね。これまでの学会発表やジャーナルを見ても、結果や結論の信頼性はわかりにくいですね。

理事長　学会発表というのは、もちろん社会的責任を行使しているのですが、わかったことだけ言えばよくて、わからないことは言わなくてよい、という特徴を持っています。しかし助言というのは、わかっていることはもちろん、「わからないことはこれなのだ」ということを合わせて出さないと、使う人にとっては非常に困るわけですね。

そういう助言の形が産総研の製品ということなのですね。その製品というのは、どういうものなのか。それを出そうとする時に、どういう付帯条件を付けられれば製品としての完成度が高くなるのか、考えなければいけない問題ですね。

宮城さんの場合には相手が原子力安全・保安院と決まっていますから、両者が合意していればよいという面もあるけれど、いずれ社会に広がっていくとすれば、どこまで出すかとか、出す時にはどういうふうに出すかとか、そういうことも必要になるでしょうね。いずれ、地域が処理場を誘致するかどうかを決める時に、彼らは何を知れば必要で十分なのか。そこはよく考えなければいけない。社会的条件は我々の範囲を超えているけれど、どこまで研究し、どこまで情報を出せばよいのか、常に考えなければいけませんね。

脇田　裁判社会である欧米では、地質図を出したことによって訴えられた場合に備えて「どれだけの精度を持っているかをきちんと述べる」、そういう研究を行っています。

理事長　それを使って何かやった結果、事故が起きたらデータの責任になるわけですね。

脇田　そのために、どういう精度を持っていて、どういう範囲で利用できるかを説明する形になっています。

宮城　トンネルを掘れば検証されてしまうので、責任を問われるわけです。

火山の場合ですが、三宅島が2000年に噴火しました。あの時は、住民が島外に避難するかしないかという場面で、研究成果がその判断材料に使われたのです。そういうときに確実な情報を提供できるかどうかが、非常に大事になってきます。我々が噴出物をどう解釈するかによって、島民の行動が決まってしまうのです。

しかも、その後の火山活動がどうなったかによって、いやおうなく検証されてしまう。

理事長　三宅島はどうだったのですか。

宮城　三宅島に関しては、大学とかなりの論議になりましたが、産総研で提出していたモデルが最終的に採用されました。

理事長　それで避難もしたし、それが正しかったわけですね。これは、もっと宣伝したいですね。他の分野だって

社会に情報を出しているわけで、同じ課題を抱えているわけです。それがいったいどういうプロセスで他に影響を与え、さらにそれが元になってどうなってきたか。そのような過程を知る上では、三宅島はまさに典型的な例であり、なぜ産総研が成功したのかがわかると思う。それは、学問的な理解が深かったということですか？

本格研究は科学と社会が
接点を持つ研究スタイルだ。
これまでそれが存在しなかった
研究分野にも
拡げていけるはず。

吉川 弘之

宮城　よく物を見ていたということだと思います。あの時に一番ショックだったのは、「学者は火山から出てきた石を見れば全部わかるのだ」と一般の人が思っていたことでした。新聞社の人たちからは、「顕微鏡で見たら、石の粒がマグマの破片なのか、それとも元からあった石が破片になったのか、すぐにわかるでしょう」と言われました。実はそこがわからなくて議論になっていたわけなのに。

責任の一端を科学者が負っていると思います。そうはいかないのだということを、きちんと広報しなければいけないのです。

小野　わかったことしか言わないのでは、大きな問題が残りますね。

理事長　科学者は、そういう習慣になってしまっている。学会というのは、そういう仕組みですからね。わかったことだけを発表するわけでしょう。ところが、社会からは、科学者は学会を通さずに直接見られているわけですね。そこでどういう情報を流せばよいかということになると、学会とは違ってくるはずです。

内藤　三宅島のとき、大学には地球物理学の研究者がたくさんいるが、産総研には、いろいろな種類の人がいたことが差になったと思います。つまり、多面的というか、視点の数が多かった産総研のほうが、結果的にはより高度な見通しを持つことができた。

知識を統合していく過程では、視点の数が多いほうが、より精度は上がっていくのではないかと感じました。

理事長　第2種基礎研究というのは、知識の領域が増えれば増えるほど、よい結論が出る。これは私の公理です。だから、なるべく多くの人を集めなければいけない。三宅島の話は、ぜひオープンにしておきたいですね。非常によい例になると思う。我々が成功した理由をきちんと分析しておく必要があります。

小野　第2種基礎研究の成否を分けるひとつの要素ですね。

内藤　今日のお話でいくと、不確かさをきちんと言っていく、ということでしょうね。必ず不確かさを伴った情報であるということを、我々が言っていく必要がある。でも、不確かさの評価は難しいですね。

小野　難しいけれど、「情報には必ず不確かさがある」ということを知るのがまず第一歩で、それでもとても大きな一歩だと思います。

理事長　最後に感想を申し上げますが、本格研究というのはどういうものか、実際に数年にわたって実行して、その形が見えてきたと思います。それは基本的に、科学と社会が接点を持つ研究スタイルで、だから本格研究とは何かをもう少し説明できないといけない。そこで、主として材料研究やバイオ研究などで、第2種基礎研究から本格研究への移行に関する議論がなされてきました。しかし、今日の印象は、すでに確立された第2種基礎研究が存在していたということでしょうか。

それは考えてみれば当然で、前から、顧客というか、製品を提供する相手が見えていたわけですね。ハイテクなどはまだ産業として存在しないから、そういうところでは本格研究が必要なのだけれど、今日のお話しの方は、すでに歴史的に成立している第2種基礎研究があった、すでに行動者、利用者が存在していたということですね。

自信を持ちました。基礎研究者と行動者が協調的な構造を社会的につくってきた中に本格研究が存在したとすれば、まだそういうものが存在していない分野にも、それを持ち込むことでうまくいく可能性は非常に大きいと思います。

もうひとつ、今回問題になったのは、不確かさの問題をどう社会に伝えていくか。そういった問題が、これからの科学技術の問題点でしょう。サイエンスの出口である社会に対して、いったいどういう信頼感をつくっていくのか。それにはおそらく、これまでの第2種基礎研究の経験を語ることが意味を持つと思う。今日は、第2種基礎研究を再発見したということになるでしょうか。

小野　どうもありがとうございました。

高レベル放射性物質の廃棄に関する本格研究

現在火山が無い場所は、将来も火山が無いのか？

負の遺産：高レベル放射性廃棄物

私たちが享受している豊かな生活は、電力無しには成立しません。国内では50基余りの原子炉が電力を供給する一方で、極めて毒性の強い高レベル放射性廃棄物も生み出しています。すでに発生してしまった廃棄物の問題に目をつぶることは許されません。毒性が自然に弱まるまで、10万年以上もの超長期間にわたり、生物圏から隔離しなければなりません。これが、この本格研究のニーズです。

人類初の挑戦 ― 超長期の耐久性

果たして人が造った容器はこの途方もない超長期間にわたり隔離性能を維持できるのでしょうか？ 文明の歴史はたかだか数千年です。人類はそのような超長期の耐久性を持つ建造物を作った実績がありませんし、耐久性の評価さえおぼつきません。

世界中の科学者が知恵を絞った結果、廃棄物を丈夫な容器に入れたうえで安定な地層の中に安置する「地層処分」という手段が現在では最適な方法と考えられています。遮閉容器として地球の性能を利用するのです。地球の耐久性は人造構造物などの比ではありません。ただし、人造物がある目的のため綿密に設計されるのに対し、地球は地層処分のために造られた物ではありませんから、利用法を誤れば大変です。とりわけ日本のように地震や火山の多い地域では、処分場の立地にあたり、地球の実態と動作原理を十分に理解する必要があります。ここで紹介するのは、火山・マグマ活動についての研究（図1の黄色の範囲）の一部分です。

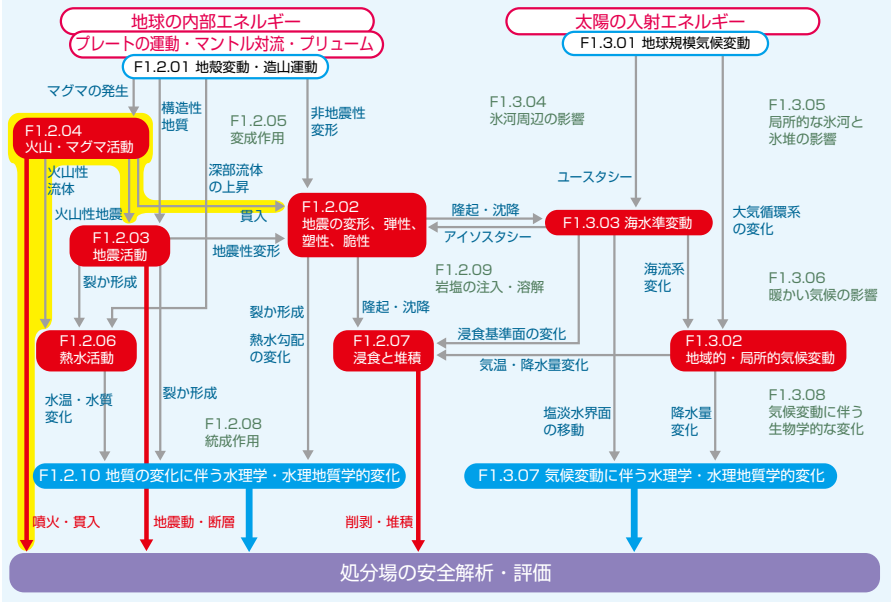

図 1　地質及び気候関連起因事象の樹枝構造
国際機関 OECD/NEA による FEP(Features, Events and Processes) の産総研版。

将来の噴火から処分場を守る

噴火とは、マグマや火山ガス、そして地下で破砕された岩石が急速に地表に放出される現象の事で、大きな地殻変動を伴うことがあります。火山噴火のエネルギーは圧倒的で、もしも処分場が直撃されれば、廃棄物は粉々に砕かれて上空高く放出される可能性があります。噴火の直撃に耐える処分場を造ることが不可能なら、将来噴火の可能性がある地域への処分場の立地は、当然避けるべきです。

活動的な火山を抱える日本では、次の噴火に備えて災害予測図の作成などさまざまな取り組みがなされていますが、火山の無い地域に将来火山が新規出現することを想定した対策がなされた例は耳にしません。たしかに国内には、過去数百万年間火山噴火が無く、将来も噴火が無いと考えられている地域が存在します。しかし、それ以外の地域については、現時点で火山が無いから将来も噴火は無いと言い切ることはできません。火山の無かった場所で突然爆発的な噴火が起きた例はいくつか存在します。例えば秋田県の一日潟、山形県の肘折火山、宮城県の安達火山、北海道函館沖の銭亀火山などです。

廃棄物の毒性が自然に弱まるのに必要な期間が長いほど、「新規火山」の評価の重要性は大きくなってきます。

秋田大学鉱山学部卒業、東京工業大学博士課程終了。マグマ中に含まれる揮発性成分（主に水）の起源や、マグマが地上に出る間の脱ガス過程を研究している。秋田大学時代の恩師が地熱発電に関係する研究をしていたこともあり、エネルギーや環境問題には以前から関心があった。ここ数年は放射性廃棄物の地層処分に関連する仕事をしている。
研究HP＝ http://staff.aist.go.jp/miyagi.iso14000/

宮城 磯治（みやぎ いそじ）
深部地質環境研究センター
長期変動チーム

新規火山の事例研究

ある地域に将来の新規火山が出現する可能性を科学的に評価するためには、マグマがどのような場所にどのような条件で発生蓄積し、そして噴火に至るのかを理解しなければなりません。事例研究を行った山形県の肘折火山の調査から、新規火山の特徴が見えてきました。

肘折火山はこれまで顕著な火山の無かった場所に今から約1万2千年前に新規に出現した火山で、比較的短期間（数百年?）に4回の大きな噴火活動をして、南へ5km 北へ9kmの地域を最大層厚150mもの火砕流で覆いつくしました。また、噴火の爆発力により火口の下約2km以浅の岩石を粉々に砕いて空高く放出し、それらを上空の風に乗せて東方60kmの地域に降らせたことが、地質調査からわかりました。現在の肘折火山には、直径約2km 深さ約200mの小カルデラの中に、今年で開湯1200年を迎える温泉が湧いています。

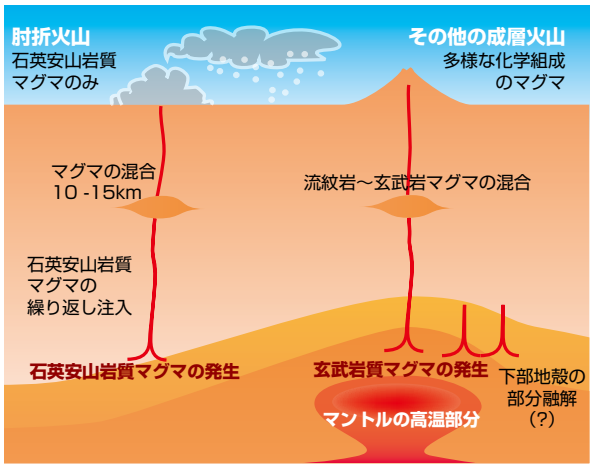

図２　肘折火山の生成モデル
比較的低温で生成する石英安山岩質メルトが、くりかえし地下10～15kmに注入することにより、マグマ溜まりを生成し、噴火に至ったと考えられる。石英安山岩質のマグマが生じるためには、玄武岩マグマ（1200℃）ほどの高温を必要としない。弾性波速度分布により800℃～950℃の熱異常が観察される地域には、石英安山岩質の新規火山が噴火する恐れがある。

特徴的なマグマ蓄積過程

実験室に持ち帰った噴出物をさまざまな観察手法を使って調べた結果、肘折のマグマ蓄積過程は浅間山や富士山のように繰り返し「既存の火山」が噴火する例とは大きく異なることがわかりました。

富士山や浅間山では「玄武岩」と呼ばれる高温のマグマが深部から供給され、これが直接、あるいは浅い所にあった低温のマグマと混ざって、地表に出ると考えられています。これに対して、肘折火山では、「石英安山岩」と呼ばれる比較的低温のマグマが火山の根っこに供給され、それがさらに冷えて、結晶をたくさん含んだ“お粥”のような状態で蓄積し噴火したようです。混じった側も混ぜられた側も同じ石英安山岩質です（図2）。

高温高圧実験により決定されたマグマの飽和含水量の圧力依存性と試料の分析（図3）により、その“お粥”の位置を地下10～15kmと推定できました。

また、石英安山岩質マグマの融点が含水量に大きく左右されることから、“お粥”の温度は約800℃、深部から供給されるマグマは約950℃と推定できました。玄武岩マグマの温度が約1200℃ですから、肘折火山のマグマはずいぶん低い温度で生じたことになります。

火山の根っこの深さと温度が推定できたことは、非火山性の地域における新規火山の可能性を判断するうえで重要なポイントになります。現代の地球物理学では、地震波の伝わり方を調べることによって、地下数十kmの岩盤の温度分布を広い範囲にわたって推定することが可能だからです。たとえば地下温度800℃～950℃の地域分布から、肘折火山のようなマグマの発生の可能性を判断できるはずです。

10万～100万年後の温度構造を予想するには、コンピュータを用いたマントル流動の数値モデル計算が必要です。その計算結果の信頼性は、地質学者が把握している過去何百万年以上の火成活動史がどれだけ正確に再現できるかによって評価できるでしょう。

今後は肘折火山にみられた特徴が他の新規火山にも共通するかどうか確認し、将来の火山活動の評価に役立ててゆきたいと思います。

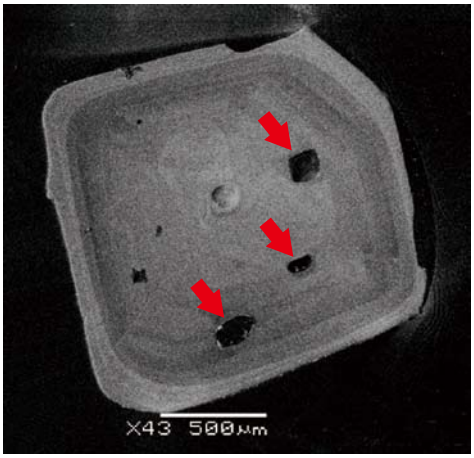

図３　石英斑晶中のガラス包有物（写真：左）
ガラス包有物（赤矢印）は斑晶の容器に包まれているため、噴火時の減圧や脱ガスを免れる。マグマの飽和含水量には圧力依存性があるので、噴火前の含水量を二次イオン質量分析計（写真：上）で分析すればマグマ溜まりの深さが推定できる。

地球観測データの利用における本格研究

利用ニーズ・産業化に向けた地球観測衛星データ

地球観測衛星データに、今、望まれていること

地球観測衛星の歴史は、数十年におよびます。産総研でも、これまで20年以上、経済産業省主導の地球観測衛星センサに関わり、情報通信・エレクトロニクス分野、地質分野、環境・エネルギー分野、標準・計測分野に渡る多くの研究者が参画し、研究開発を進めてきました。しかし、ひまわり等の静止気象衛星を除けば、そのデータ利用は一部の専門家に限られ、より広く一般に利用されているとは言い難いものでした。

一方、最近になって、大手企業の検索サイトで衛星画像が扱われるようになりました。これら検索サイトの衛星画像は、衛星データの写真的な価値にのみ着目しているため、本来の衛星データに比べると、その情報の量・質は大きく落ちます。しかし、ユーザに利用しやすい形で衛星データを提供することにより、多くの人がこれに接し、地球観測衛星データの価値が社会に認識され、さまざまな分野で有効活用されるようになりました。

また、人類の産業活動が地球におよぼす影響も大きくなり、持続可能な社会の実現のためにも、資源や環境を正確に把握し対処するための、より有効な地球観測の実現が必要となってきています。

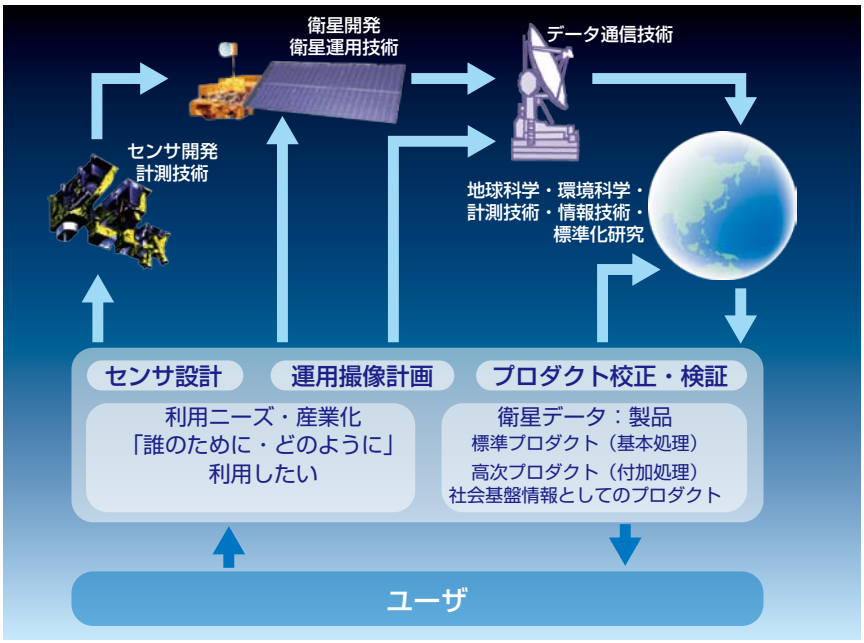

図１　利用ニーズに結びついた地球観測衛星の開発研究

つまり今、利用ニーズ・産業化に向けた地球観測衛星データを考えていくことが、重要なのです（図1）。

利用ニーズ・産業化に向けた地球観測衛星データへの研究：GEO Grid

地球観測衛星データを、より利用ニーズ・産業化に向けたものとするには、衛星データの情報のみならず、各種地上観測データやGIS（Geographic Information System：地理情報システム）データからの情報を統融合した処理解析も重要となっています。また、地球観測衛星データ自体が既に製品であることから、標準技術に裏づけられた品質保証、さらに、多くのユーザが利用しやすく、かつ流通しやすいものとするためには、データ様式・取扱いの標準化も必要です。

地球観測衛星データの多くは、そのアーカイブが巨大であり、また各種地上観測データやGISデータの様式・取扱いも多種多様です。さらに、その管理に複数組織が複雑に絡んでいることから、前述の課題点への対応は困難なものとなっています。そこで、これらを克服するひとつの方法として、GEO Grid（Global Earth Observation Grid）の推進があげられます。

GEO Gridは、システムであると同時にコンセプトに近いものであり、巨大化、多種多様化、そして複数の管理組織が複雑に絡む地球観測データに対し、グリッド技術を用い、これら多くの壁を越えた地球観測データの統合・情報処理を可能にするものです（図2）。具体的には、地球観測衛星データなどの大規模アーカイブを提供すると同時に、各種観測データベースやGIS

早稲田大学博士課程修了。地質調査所入所。2006年4月より新規発足した地球観測グリッドチームに所属。ユーザサイドから、国内外の衛星および航空機センサ開発に関わり、これまで、おもに、地表ターゲットを用いた衛星センサ校正、および、各種地表面パラメータ算出のための基礎的補正処理の研究に従事。
信条は、聞く耳を持ちつつ、こだわりを持つこと。

土田　聡（つちだ さとし）
グリッド研究センター
地球観測グリッドチーム

データと統合したサービスを安全かつ高速に提供します。しかもそのデータをユーザが簡便に使えることを目指したものです。また、複数の研究機関との連携により、地球環境保全、エネルギー資源有効利用、自然災害軽減、危機管理など、地球規模の社会的問題解決に資し、さらに、都市情報、地理情報、社会ニュースなどと組み合わせた新たなビジネスモデルのサービスを支援することを目的としています。

産総研では、情報通信・エレクトロニクス分野、地質分野、環境・エネルギー分野の融合研究として、第1種基礎研究を主とした地球科学・環境科学・計測技術と、第2種基礎研究を主とした情報技術・標準化研究をリンクし、GEO Gridの開発研究に取り組んでいます。GEO Gridでは、経済産業省が有する地球観測衛星データと産総研に長年蓄積された地球科学情報（地質および環境技術）をコアコンテンツとしています。また、コアテクノロジーとして国際標準に準拠したグリッド技術を利用し、GEO Gridの基本となる初期システムを構築しています。将来的には、このシステム（もしくはコンセプト）をより多くの関連機関と共有し、地理的な壁・所有者の壁・多様なアクセス方針の壁を越えたデータ統合・情報処理を目指しています。

第2種基礎研究としての標準化研究には、衛星データの場合、データ様式・取扱いにかかる標準化と品質保証のための標準化の研究があります。前者にかかる標準化研究は、GIS業界も含めた、非常に大きな問題です。GEO Gridにおいては、OGC（Open Geospatial Consortium）とOGF（Open Grid Forum）といった国際的な枠組み同士の連携をも視野に入れ、取り組みを開始しています。また、後者については、計測標準研究としての放射量補正にかかる研究のほかに、各種プロダクト（標準・高次・社会基盤情報等：図1）に対する、衛星ならではの地表データを用いた校正・検証研究もあり、GEO Gridの各種地表観測データの統融合能力はこの校正・検証研究を進めるにあたっても非常に有効なものとなっています。

地球観測衛星データにおける本格研究

地球観測衛星データの研究は、常に製品化に向けてのものであり、多くの分野からなる、第1種基礎研究、第2種基礎研究がリンクし、全体として本格研究をなしています。しかし、多くの分野を抱えるだけに、それぞれの研究は微妙に異なる方向を向きやすく、その総合的な成果は、なかなか具体的な製品に結びつかず、製品化されたとしても、利用ニーズへの適合・新たな産業化へは、やや距離のあるものとなる傾向があります。

しかし、今、産総研で取り組み始めたGEO Gridの推進は、まさに、第2種基礎研究を核に、この方向性をひとつにした利用ニーズ・産業化に向けたものです。産総研という多くの研究分野を持つ機関だからこそ、その推進を先導し、より有効な地球観測衛星データの利用を生みだすことが可能なのです。また、このような取組みが、衛星データのみならず、広く地球観測情報（地質・環境・社会分野などの情報）に広がり、さらに、新規衛星センサが、この利用ニーズ・産業化を意識し計画・設計されれば、今後、ユーザの爆発的な拡大、ひいては、昨今の検索サイトでの衛星画像利用の比ではない「地球観測にかかる、新たな産業・ビジネスプラン」創出も夢ではないかもしれません。

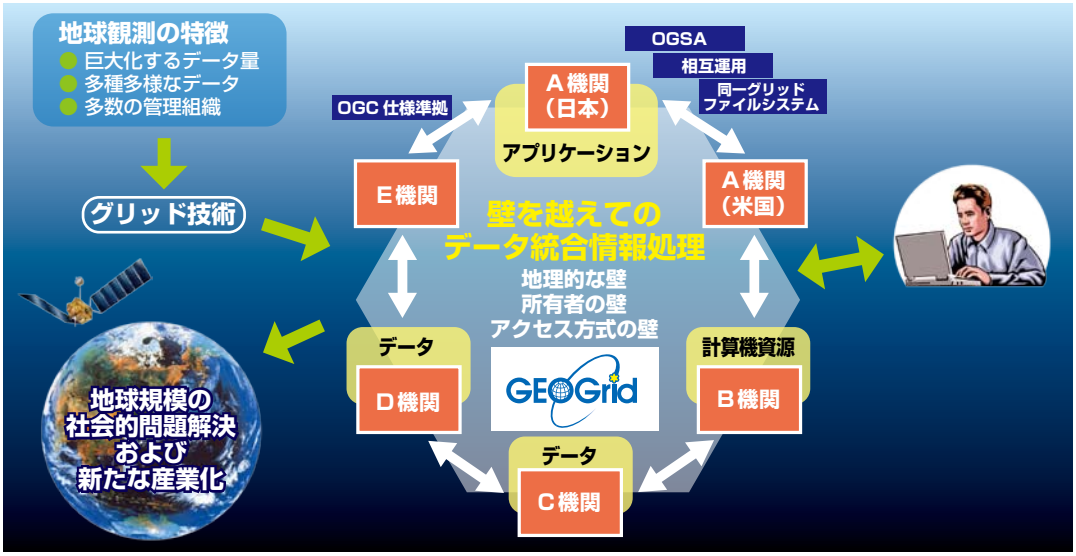

図2
GEO Grid 概念図

地質図作成における本格研究

島弧の地質解明と地質図情報の整備・発信

地質図作成と本格研究

地質学は歴史の古い学問で、世界最初の地質図が作成されたのは1890年に遡ります。この最初の地質図の作成過程では、地層がどのように重なるか？など、自然現象を詳しく観察・解析し、長い期間の苦悩と深い洞察によって、石炭層の分布が明らかにされ、社会に役立つ地質情報が創出されました。この過程そのものが本格研究だと言えるでしょう。

現在産総研で実施している地質図に関する研究も、19世紀末の研究過程同様、基礎研究をベースに、社会に役立つ情報として提供するという本格研究のスタイルを踏襲しています。実際、私たちは、山野を闊歩し、わずかに露出している岩石や地層から、さまざまな基礎研究の積み重ねと深い観察力・洞察力によって、できる限り精度の高い地質図を作成し、社会に提供しています。

付加体と海洋プレート層序

基礎研究の成果が、地質図の精度向上に与えた典型的な例が、「付加体地質学」です。日本各地には、砂岩・泥岩・チャート・玄武岩といったさまざまな種類の岩石が複雑に混じり合って分布する場所が非常にたくさんあります。これらの岩石がどのようにして混じり合ったのかは、長い間不明でした。詳細な地質の調査を通じて、岩石の種類・構造・年代を高精度に決定した結果、これらの岩石群は、過去の海洋プレート上の岩石と陸から供給された地層が、海溝で出合い、混じり合った“付加体”であることが、最近わかってきました。岩石が経てきた歴史をひとつひとつ復元して、海洋プレート層序という概念を構築し、これこそが、海と陸との接点で、大陸を成長させてきた重要な形成過程であることが分かってきたのです。このような現象は、日本周辺の海溝などで地震を伴って起きている“現在の現象”であると同時に、30億年もの間地球上で継続され大陸を次第に成長させた原動力の1つであることもわかってきています。

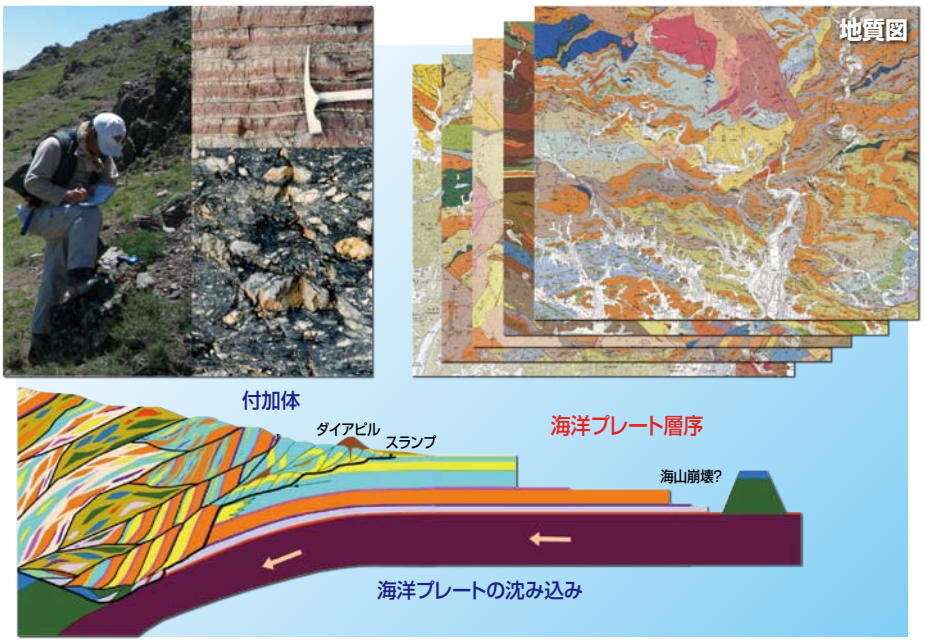

図１　地質の調査と地質図（上）および 付加体地質学で解明された「海洋プレート層序」（下）

地質図の作成

このような基礎研究を推進することによって、複雑な岩石群の形成過程の詳細も解明され、地質図をより精密に描くことが徐々に可能になりました。海洋プレート層序の破断・変形過程が解明されるにつれ、地質の調査の現場でも、調査のポイントが明確になり、見えない現象を“観る”ことができるようになります。地質図を作成する際にも、地層や岩石の分布のあり方を詳しく描けるようになります。

産総研では、基礎研究によって常に精度の向上した地質図を提供し、国土の基本情報として公表してきました。これらの地質図は、ダムや道路工事の現場などにおける設計・施工の際に重要な基礎情報として寄与するほか、産業立地や防災・環境保全の基礎情報として利用されてきています。

名古屋大学理学部地球科学科卒。地質調査所に入所。地質図幅の作成、日本及びアジアの付加テクトニクスの研究に従事。2004 年より国際地質学連合地球科学情報管理応用委員会評議員。近年は、数値地質図の国際標準や日本シームレス地質図 DB 構築など地質図情報のデジタル情報整備・発信に積極的に取り組んでいる。

脇田 浩二（わきた こうじ）
地質情報研究部門
統合地質情報研究グループ

地質図研究と死の谷？

地質図の研究に死の谷があるかという点については、いろいろな見解があります。地質図は社会に直接役立つ情報なので、死の谷はないという考え方もありますし、日本において資源開発がほとんど行われていない現在、地質図の役割は資源開発から防災や産業立地利用への移行過渡期にあり、産業に直接結びつく技術・情報となり得ていないという考え方もあります。

世界的に地質情報をどのように社会に役立てるかという問題は、最重要課題として取り上げられ、国際惑星地球年（2008）においても、“社会のための地球科学”を標語として掲げています。世界中で地質図を初めとする地質情報の社会貢献を模索しており、産総研においても産学官の連携を通じて、地質情報の社会貢献へ向けて真剣な取り組みを続けています。

シームレス地質図の作成

地質図の社会貢献をより推進しようという試みの1つが、シームレス地質図の構築です。地質図は第1種基礎研究の推進によって精度が向上しますが、逆に研究の進展によって解釈も描かれ方も異なるため、隣接する地質図の区画で地層区分や地質年代の解釈が異なり地質境界にズレが生じます。

これを改善し利用しやすい地質図情報とするため、全国統一凡例を用いて地質情報を統一した基準で表現し、それを日本国土全域で連続化させました。この「シームレス地質図」は、研究情報公開データベースにおいて公開し、2006年11月までに13万件のアクセスがあり、防災や環境など多くの分野からの利用希望がありました。
http://www.aist.go.jp/RIODB/db084/

図２　20万分の１シームレス地質図（RIO-DB 084）とその作成過程

第２種基礎研究から本格研究へ向けて

シームレス地質図の研究は、“地質図”というアウトプットをよりわかりやすく使いやすい形にしてインターネット上で発信していく試みです。インターネットにはさまざまな情報が飛び交いますが、シームレス地質図の情報は、火山や地震、地すべりなどの災害情報とリンクすると利用価値が増します。また、災害は世界各地で起こるので、その対応には世界中での連携が必要です。国内外において地質情報を有効に利用してもらうため、地質情報の標準化が必要です。

シームレス地質図の研究や地質図情報の標準化は、学際的な研究を進め、地質図の新たな利用や新たな産業の創出を模索する過程で行われる第2種基礎研究ということも可能です。オリジナル地質図やそれを編集したシームレス地質図は、それぞれそれだけで重要な社会基盤情報でありますが、それを更に利用し社会に役立てるための研究の推進があって初めて本格研究が完成すると思います。

今後も基礎研究を充実させ、地球の本質を理解した上で、より精度の高い地質図を生産するとともに、分かりやすく使いやすい地質図データベースの構築や地質情報利用技術の発展を通じて、産総研の本格研究を推進したいと考えています。

物性データベース構築の本格研究

熱物性データの生産から供給へのハブの構築

熱物性データのニーズ

今日の製造業においては、シミュレーションを行い最適な製造条件を設定する場合が増加しています。私の関わっている“熱が主体的役割を担う分野”では、このような傾向は成熟産業である射出成形や鋳造などから、電子機器の熱設計や、半導体の引き上げプロセス、次世代半導体や相変化光メモリなどの先端産業にまで及んでいます。信頼できるシミュレーションを行うためには、対象の本質をとらえたモデル化を行い、正確な計算を行えるソフトウェアを使用して、対象を構成する材料や流体の正確な物性値を与えて計算を行う必要があります。現状では、シミュレーションソフトウェアの開発が着実に進展し商用のパッケージソフトウェアの普及が進んでいるのに対して、信頼できる物性値の入手がボトルネックになっている場合が少なくありません。信頼性の高い熱物性データが容易に入手できる環境が実現されれば、真に定量的なシミュレーションを行うことが可能となり、製造業の高度化を促進し国際競争力の向上に寄与すると期待されます。

また、新材料の開発に際して、その熱的機能は熱物性値として定量的に表示されます。従って、熱的機能に優れた材料を開発するには開発された材料の熱物性値を正確に計測して材料開発にフィードバックすることが不可欠です。完成した製品はカタログに信頼できる熱物性値を記載して社会に供給されます。

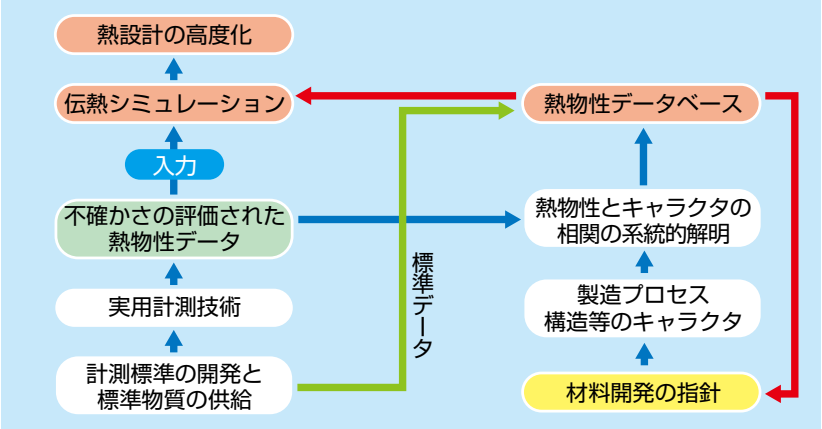

図１　熱物性データベースと計測標準のトレーサビリティー

熱物性計測技術

熱物性値には熱エネルギーの移動に関わる熱伝導率、寸法の温度変化を表す熱膨張率など多くの種類がありますが、緻密なバルク材料の熱拡散率は、小さな円板状試料の表面をパルス光で加熱し、裏面の温度変化を観測する「レーザフラッシュ法熱拡散率測定」によることが一般的です。

私は約20年前にレーザフラッシュ法により熱拡散率の国家標準を確立するための研究を開始しました。レーザ光を光ファイバに通して多重反射させて空間的に均一化します。その光で試料表面を均一に加熱して、試料内での一次元熱拡散を実現し、誤差を低減する技術を開発しました。この技術を核にしてレーザフラッシュ法による熱拡散率計測技術が高精度化され、熱拡散率標準の整備が進展するとともに、国際度量衡委員会測温諮問委員会熱物性作業部会において熱拡散率の国際標準を確立するための取り組みが進められています。また、レーザフラッシュ法熱拡散率計測技術の標準化に取り組み、JIS規格2件とISO規格1件の発効に寄与しました。

さらに、私たちのグループでは、厚さ100nmの薄膜をレーザフラッシュ法と同様の原理で測定する超高速レーザフラッシュ法を世界で初めて開発しました。この技術を普及させるために、現在JIS規格の作成を進めるとともに、ISO規格への提案を準備しています。

これらの例をはじめとして主要な熱物性に関して、国家標準からの校正の連鎖によって実用計測器の信頼性が保証されるトレーサビリティ体系が整備され、図1に示したように信頼性が保証された熱物性データが継続的に生み出される体制を実現しました。

情報の記録と伝達の方法は、①言語の成立、②文字の成立、③デジタル電子情報化、の順に発達してきた。データベース技術は電子情報を記録し効率的な情報の伝達と処理を実現することにより、文書に基づいて築かれていた従来の社会システムの全体を変革する基盤と位置づけられる。科学技術においてもデータベースの役割が飛躍的に増大していくと考えている。
http://www.aist.go.jp/RIODB/TPDB/DBGVsupport/

馬場 哲也（ばば てつや）
計測標準研究部門
物性統計科

物質・材料に関する情報の共有

このようにして整備された熱物性の国家標準とトレーサビリティにより生み出される信頼性の高い熱物性データは、測定を依頼したユーザによってシミュレーションや材料開発に活用されますが、論文やデータブック、特にデータベースに収録することによって、多数のユーザに利用可能な知的基盤となります。普遍的な価値のあるデータとするためには、図1に示されるようにデータの不確かさが評価されているとともに、測定された材料の組成や構造が明らかにされていなければなりません。

新しく開発された材料は、機器やデバイスを構成する部材として利用されて初めて役に立ちます。開発される多様な物質・材料は当初想定していた応用分野に限らず広範な分野で利用できる可能性があり、このようなデータベースは物質・材料の開発と、異なる材料利用分野における利用を橋渡しするハブの役割を担うことが期待されます。

材料を利用する立場からは、定量化された機能について所要の物性値を持つ物質・材料をデータベースから分野横断的に検索できます。物性データベースを介することにより、物質・材料を開発するコミュニティと、それを利用するコミュニティが、必要かつ十分な情報を共有する状況が実現できるのです。

分散型熱物性データベースの開発

熱設計を行うための伝熱シミュレーションには、金属、半導体、高分子、種々の流体など多様な物質・材料について信頼性の高い熱物性データが必要になります。そのためにはデータベースに広範な材料の熱物性データを集積することが必要です。このような広範な物質・材料の開発分野、利用分野をカバーするデータベースの構築は単独の機関では困難で、多数の機関が連携して取り組むことが不可欠です。個々の機関が主体的に自らの分野に関わる小規模の熱物性データベースを整備し、インターネットを介してそれらのデータベースを横断的に閲覧するアプローチが有効です。

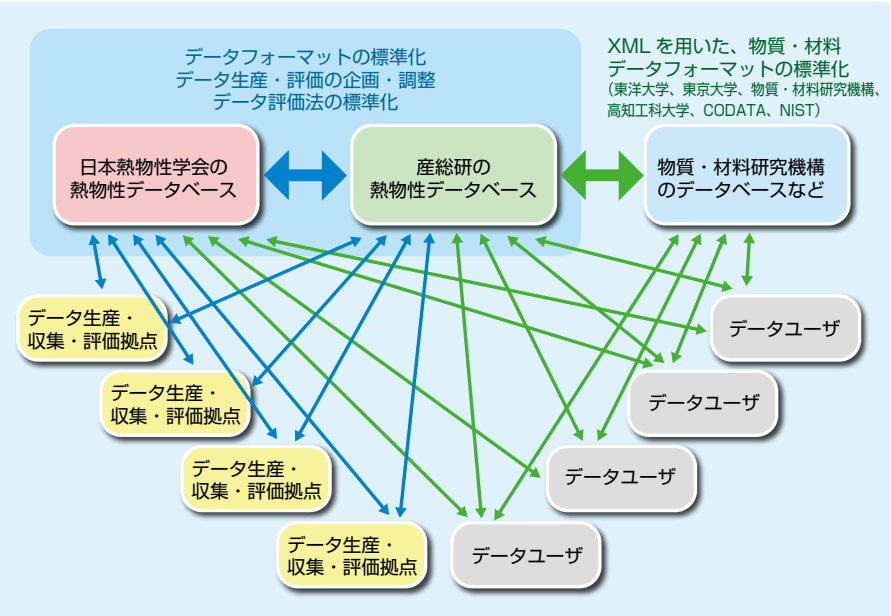

図２　分散型熱物性データベースの連携協力体制

産総研では、図2に示したように広範な関連機関の連携のもとに、個々の研究機関がデータの入力・更新に継続して責任を持ち続け、それらの独立し分散したデータベースを統合した形でネットワークからアクセスできる「分散型熱物性データベースシステム」の概念を提示し、産総研の研究情報公開データベース（RIO-DB）の課題として開発を進めてきました。約3年前に公開して以来、分散型熱物性データベースの収録データは約1万組に達し、エレクトロニクスメーカや大学などから毎月平均1万件のアクセスがあります。昨年末には分散型熱物性データベースシステムのソフトウェアが日本熱物性学会に導入され、学会で生み出される熱物性データを収録する新しいデータベースサーバが立ち上がりました。

さらにさまざまな物質・材料データベースやシミュレーションソフトウェアの間で物性データを円滑に交換するためにXML（eXtensible Markup Language）を用いた標準フォーマットの整備に向けて、データベース開発に関わる機関が協力して、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の知的基盤プロジェクトを開始しました。そのフォーマットを国際標準とすべく、2006年9月に中国で開催された科学技術データ委員会（CODATA）において日本からの提案により作業部会が設置されました。

今後は熱物性のみならず、光学物性、電気物性、力学物性などを含む幅広い物性データを対象として、物性データベースの研究開発・整備に取り組む国内・海外の広範な機関との連携を加速し、科学技術の進歩を支える知的基盤である信頼性の高い物性データを社会に継続的に提供していく計画です。

技術を社会へ− Integration for Innovation

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
AIST

独立行政法人
産業技術総合研究所

〒305-8568　茨城県つくば市梅園1-1-1　中央第2
広報部 出版室
Tel：029-862-6217　Fax：029-862-6212　E-mail：prpub@m.aist.go.jp

産総研ホームページ　http://www.aist.go.jp/

このパンフレットは、「産総研 TODAY」2007-2 号の掲載記事をもとにして作成しました。
発行日：2007. 2. 13

R100 古紙配合率100%の再生紙を使用しています。
PRINTED WITH SOY INK